

FACULTE DE MEDECINE DE PARIS

ANNÉE 1933

N°

THÈSE
POUR LE
DOCTORAT EN MÉDECINE
(DIPLOME D'ÉTAT)

13

PAR

Paul de VULPIAN

Né le 19 Décembre 1905, à Lamballe (Côtes-du-Nord)

Contribution
à l'étude du dosage des ultra-violets
en Thérapeutique

Président de Thèse : M. STROHL, Professeur

PARIS
LIBRAIRIE LE FRANÇOIS
91, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 91

1933

83

ANNÉE 1933

N°

THÈSE
POUR LE
DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

Paul de VULPIAN

Né le 19 Décembre 1905, à Lamballe (Côtes-du-Nord)

Contribution
à l'étude du dosage des ultra-violets
en Thérapeutique

Président de Thèse : **M. STROHL, Professeur**

PARIS
LIBRAIRIE LE FRANÇOIS
91, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 91

—
1933

I. — PROFESSEURS

Le Doyen M. BALTHAZAR

MM.

Anatomie	ROUVIERE.
Anatomie médico-chirurgicale et chirurgie expérimentale	GRÉGOIRE.
Physiologie	BINET.
Physique médicale.....	STROHL.
Chimie médicale.....	DESGREZ.
Bactériologie	LEMIERRE.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales....	BAUDOUIN.
Pathologie médicale.....	CLERC.
Pathologie chirurgicale.....	LENORMANT.
Anatomie pathologique.....	ROUSSY.
Histologie	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale.....	TIFFENEAU.
Thérapeutique	LÉPER.
Hygiène et Médecine préventive.....	TANON.
Médecine légale.....	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie.	LAIGNEL-LAVASTINE.
Pathologie expérimentale et comparée....	FIESSINGER.
Hydrologie thérapeutique et climatologie..	MAURICE VILLARET.
Clinique médicale.....	CARNOT.
Hygiène et clinique de la première enfance	BEZANÇON.
Clinique des maladies des enfants.....	ACHARD.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.....	MARCEL LABBÉ.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	LEREBOULET.
Clinique des maladies du système nerveux	NOBÉCOURT.
Clinique des maladies infectieuses.....	H. CLAUDE.
Clinique chirurgicale.....	GOUGEROT.
Clinique ophtalmologique.....	GUILLAIN.
Clinique urologique.....	TEISSIER.
Clinique d'accouchements.....	DELBET.
Clinique gynécologie.....	HARTMANN.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	GOSSET.
Clinique thérapeutique médicale.....	TERRIEN.
Clinique oto-rhino-laryngologique.....	LEGUEU.
Clinique thérapeutique chirurgicale.....	COUVELAIRE.
Clinique propédeutique.....	BRINDEAU.
Clinique de la Tuberculose.....	JEANNIN.
Professeur sans chaire.....	J.-L. FAURE.
	OMBRÉDANNE.
	Vaquez.
	SEBILEAU.
	PIERRE DUVAL.
	SERGENT.
	LÉON BERNARD.
	MAUCLAIRE.

II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

Neurologie et Psychiatrie.....	ALAJOUANINE.
Pathologie médicale.....	AUBERTIN.
Pathologie médicale.....	BÉNARD HENRI.
Pathologie chirurgicale.....	BROCO.
Pathologie médicale.....	BRULÉ.
Pathologie chirurgicale.....	CADENAT.
Pathologie médicale.....	CATHALA.
Pathologie médicale.....	CHABROL.
Physiologie.....	CHAILLEY-BERT.
Pathologie médicale.....	CHEVALLIER.
Physique.....	DOGNON.
Pathologie médicale.....	DONZELOT.
Obstétrique.....	ECALLE.
Urologie.....	FEY.
Bactériologie.....	GASTINEL.
Pathologie chirurgicale.....	GATELLIER.
Pathologie chirurgicale.....	DE GAUDAR D'ALLAINES.
Histologie.....	GIROUD.
Pathologie médicale.....	HARVIER.
Pharmacologie.....	HAZARD.
Anatomie.....	HOVELACQUE.
Anatomie pathologique.....	HUGUENIN.
Pathologie médicale.....	HUTINEL.
Hygiène.....	JOANNON.
Chimie biologique.....	LABBÉ HENRI.
Pathologie médicale.....	LAROCHE GUY.
Pathologie chirurgicale.....	LEVEUF.
Neuro-psychiatrie.....	LÉVY-VALENSI.
Pathologie médicale.....	LIAN.
Histologie.....	MILLOT.
Pathologie chirurgicale.....	MONDOR.
Pathologie médicale.....	MOREAU.
Pathologie chirurgicale.....	MOULONGUET.
Pathologie chirurgicale.....	MOURE.
Histologie.....	MULON.
Anatomie pathologique.....	OBERLING.
Anatomie.....	OLIVIER.
Médecine légale.....	PIÉDELIEVRE.
Obstétrique.....	PORTES.
Pathologie chirurgicale.....	QUÉNU.
Physiologie.....	RICHET Fils.
Chimie biologique.....	SANNIÉ.
Dermatologie et syphiligraphie.....	SÉZARY.
Pathologie médicale.....	VALLERY-RADOT.
	(Pasteur).
Obstétrique.....	VAUDESCAL.
Ophtalmologie.....	VELTER.
Histologie.....	VERNE.
Obstétrique.....	VIGNES.



III. — AGRÉGÉS RAPPELÉS A L'EXERCICE

POUR LE SERVICE DES EXAMENS

	MM.
Obstétrique	LEQUEUX.
Anatomie pathologique	LEROUX.
Parasitologie	NEVEU-LEMAIRE.
Histologie	RETTERER.
Physique	ZIMMERN.

IV. — AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE

(ANNEXE)

A TITRE PERMANENT

	MM.
Clinique médicale	ABRAMI.
Clinique médicale	CHIRAY.
Clinique médicale	DEBRÉ.
Clinique médicale	DUVOIR.
Clinique chirurgicale	HEITZ-BOYER.
Clinique chirurgicale	BASSET.
Clinique chirurgicale	CHEVASSU.
Clinique chirurgicale	MATHIEU.
Clinique obstétricale	MOCQUOT.
Clinique obstétricale	GUENIOT.
Clinique chirurgicale	PROUST.
Clinique chirurgicale	SCHWARTZ.
Clinique chirurgicale	LE LORIER.
Clinique chirurgicale	LEVY-SOLAL.
Clinique chirurgicale	METZGER.

V. — CHARGÉS DE COURS

	MM.
Chargé du cours de chirurgie orthopédique chez l'adulte pour les accidentés du travail, les mutilés de guerre et les infirmes adultes	MAUCLAIRE, profes- seur sans chaire.
Stomatologie	FREY.
Education physique	CHAILEY-BERT.
Radiologie clinique	LEDOUX-LEBARD.
Puériculture	WEILL-HALLÉ.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.



A mon grand-père le professeur VULPIAN

DOYEN DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

1826-1887

A mon grand-père le professeur VULPIAN

A Monsieur le Professeur STROHL

DOYEN DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

Il nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre thèse.

Chargé de cours de physiologie
chez l'adulte pour les maladies du
travail, les maladies du système
nerveux, les maladies du système

Hygiène
Éducation physique
Radiologie clinique
Pneumologie

MARCELIN
JANET
JANET
JANET
JANET

Par délibération du jury de thèse du 17 mai 1914, le docteur
les opinions émises dans ce travail sont celles des auteurs et ne
sont pas celles du jury de thèse. Le jury de thèse a donné son approbation au travail.



A Monsieur le Docteur SOLOMON

CHEF DU SERVICE D'ÉLECTRO-RADIOLOGIE DE L'HÔPITAL
SAINT-ANTOINE

*Qui a dirigé notre travail, en
hommage de notre profonde
reconnaissance.*

A Monsieur le Docteur A BECLERE

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
MÉDECIN DES HÔPITAUX DE PARIS

En témoignage de la reconnaissance que nous lui avons pour la bienveillante affection qu'il nous a témoignée.

A Monsieur le Docteur BELOT
CHEF DU SERVICE CENTRAL D'ÉLECTRO-RADIOLOGIE
DE L'HÔPITAL SAINT-LOUIS

*Hommage de respectueuse
reconnaissance.*

A Monsieur le Docteur M. BARIETY

MÉDECIN DES HÔPITAUX DE PARIS

*Il fut pour nous un conseiller et
un ami.*

A mes Maîtres en électro-radiologie

1931 et 1933 M. le Docteur BELOT

CHEF DU SERVICE CENTRAL D'ÉLECTRO-RADIOLOGIE
DE L'HÔPITAL SAINT-LOUIS

M. le Docteur LEPENNETIER,
CHEF ADJOINT

M. le Docteur NADAL
CHEF ADJOINT

1932 M. le Docteur BOURGUIGNON

CHEF DU SERVICE D'ÉLECTRO-RADIOLOGIE
DE LA SALPÊTRIÈRE

M. le Docteur THIBONNEAU
CHEF ADJOINT

M. le Docteur SOLOMON
CHEF DU SERVICE D'ÉLECTRO-RADIOLOGIE
DE L'HÔPITAL SAINT-ANTOINE

M. le Docteur GIBERT
CHEF ADJOINT

M. le Docteur MARCHAND
CHEF ADJOINT

Il ne peut pas y avoir de bonne thérapeutique sans posologie sérieuse. Tous les médecins indiquent dans leurs ordonnances la quantité exacte de médicaments que le malade doit prendre et nul n'aurait l'idée de faire une telle prescription :

« Digitaline en solution au 1/1.000^{me}.

« Prendre le nombre de gouttes suffisant pour obtenir la disparition des troubles fonctionnels. »

Les radiothérapeutes, de même, ne font aucun traitement sans noter très soigneusement toutes les caractéristiques de leurs applications. D'où vient, dans ces conditions, qu'en actinologie on ne fasse guère de mesures et que la posologie soit le plus souvent affaire de tâtonnements ? Cette coutume de l'à peu près n'est certes pas due à l'absence de dangers des erreurs de dosage. Si l'on ne risque pas, en effet, d'accidents sérieux en faisant des irradiations un peu longues, on risque fort, au contraire, avec des applications trop faibles, de n'obtenir que peu ou pas d'améliorations là où des doses convenables auraient donné une guérison complète. On fait, d'ailleurs, assez rarement des irradiations par trop prolongées, les constructeurs ou les manuels indiquant les temps d'exposition à ne pas dépasser avec un type donné de lampes, mais ce qu'on ne sait pas assez, c'est que deux lampes, théoriquement identiques, peuvent avoir

des intensités de rayonnement très différentes. Des mesures faites dans le laboratoire St-Antoine montrent que deux brûleurs à mercure, semblables et alimentés par une même ligne, peuvent avoir entre eux des différences d'émissions variant du simple au quadruple. Si l'on fait avec la source la plus faible des irradiations de durée normale, les temps maxima d'exposition étant calculés pour les brûleurs les plus émissifs, on ne donne que des doses plusieurs fois trop faibles, partant peu efficaces.

L'habitude quasi générale de « faire des U V » sans dosage précis provient de ce qu'il n'existe pas encore de moyens simples et pratiques d'apprécier avec quelque exactitude les quantités de rayons que l'on donne. Très nombreuses, cependant, sont les méthodes de mesures actinologiques que l'on a proposées de part et d'autre et nous n'avons pas l'intention d'en faire ici une revue générale. Les unes, en effet, sont très rigoureuses mais nécessitent des appareils compliqués et fragiles, les autres, au contraire, sont assez simples mais d'une exactitude souvent très relative. Dans la première catégorie, on devrait décrire les piles thermo-électriques que l'on utilise associées avec un monochromateur. Elles permettent d'étudier, avec très grande précision, l'intensité de chaque longueur d'onde, mais les manipulations sont longues et délicates et en dehors des possibilités de la clinique courante. Parmi les procédés simples et pratiques de mesures on pourrait décrire tous ceux qui ont jusqu'à maintenant prévalu en clinique. Malheureusement ces

procédés sont peu fidèles et de plus en plus la tendance actuelle semble se diriger vers l'usage des cellules photo-électriques.

Ce sont donc les cellules photo-électriques que nous étudierons dans ce travail et plus particulièrement une cellule très simple et très robuste fonctionnant à l'air libre. Cette cellule est due à M. Solomon et toutes les recherches de mise au point que nous allons décrire ont été faites sous sa direction.

Avant d'aborder l'étude du fonctionnement des cellules il nous semble indispensable d'exposer le fondement de nos connaissances sur l'effet photo-électrique et ses applications.

EFFET PHOTO-ELECTRIQUE

Hertz, en 1887, a remarqué que l'on obtient plus facilement des étincelles entre les deux bornes d'un éclateur si l'on irradie celui-ci avec un faisceau d'U. V.

En 1888, Hallwachs, par une triple expérience qui est à la base même des cellules photo-électriques, a poussé beaucoup plus loin l'étude des effets produits par les U. V. sur les corps chargés d'électricité. Voici ces trois expériences :

1° Une sphère de zinc est chargée d'électricité négative et complètement isolée, on la met en connexion avec un électroscope, les feuilles de celui-ci divergent et restent ainsi indéfiniment, abstraction faite des fuites spontanées de l'ensemble. Si on dirige un faisceau d'U. V. sur la sphère on voit que les feuilles de l'électroscope se rapprochent progressivement : la sphère se décharge.

2° Si on charge la sphère d'électricité positive, on n'obtient, dans les mêmes conditions, aucun rapprochement des feuilles de l'électroscope : la sphère ne se décharge pas.

3° Deux sphères semblables, reliées chacune à un électroscope, sont placées assez près l'une de l'autre et chargées d'électricité de signe contraire. Sous l'influence des potentiels opposés il se forme un champ entre elles. Si on fait, alors, tomber un flux d'U. V. sur la sphère négative elle se décharge mais l'électricité négative libérée par le rayonnement incident est attirée par la sphère voisine chargée d'électricité positive et neutralise sa charge. Les feuilles de l'électroscope de la sphère négative se rapprochent donc comme dans la première expérience mais, ici, l'électroscope relié à la sphère positive se décharge également, non par effet direct du flux d'U. V. mais par neutralisation de sa charge.

Ces trois expériences ont permis à Hallwachs d'affirmer que, sous l'influence de la lumière ultra violette, l'électricité négative quitte le zinc et suit les lignes de force.

Des recherches ultérieures ont montré que la décharge des corps chargés d'électricité négative, décharge que l'on appelle maintenant effet photo-électrique, est due à un transport d'électrons. Elle n'est d'ailleurs pas l'apanage des rayons U. V. Elle se produit même d'autant plus facilement et avec d'autant plus de substances que la fréquence des ondes incidentes est plus grande.

Ces généralités sont encore insuffisantes pour entreprendre l'étude des cellules photo-électriques. Il faut maintenant étudier rapidement la théorie générale de l'énergie rayonnante et l'effet photo-émissif.

GENERALITES SUR L'ENERGIE RAYONNANTE ET L'EFFET PHOTO EMISSIF

Les ondes électro-magnétiques se différencient les unes des autres par leur fréquence. Cette fréquence est très variable suivant l'espèce considérée et l'on passe insensiblement des ondes produites par les courants alternatifs industriels dont la fréquence est faible, aux ondes hertziennes, puis aux infra-rouges, au spectre visible, à l'ultra violet, aux rayons X, aux rayons γ et enfin aux rayons cosmiques qui ont les plus grandes fréquences connues. Toutes ces radiations ne sont pas encore parfaitement étudiées mais on peut déjà affirmer que toute onde transporte de l'énergie. Cette énergie peut se manifester de bien des façons, entre autres, dans certains cas, par la destruction de l'équilibre atomique des corps. Si l'on s'en réfère à la théorie des quanta de Planck (1) on voit que chaque fois qu'une onde présente un $h\nu$ suffisant

(1) Théorie des quanta de Planck. Une particule qui émet ou absorbe l'énergie rayonnante de fréquence ν quelconque ne peut absorber ou émettre cette énergie que d'une façon discontinue « par grains ». Les grains ou quanta sont le produit de la fréquence ν de l'onde incidente par une constante h qui dans le système C G S égale $6,55 \cdot 10^{-27}$. On voit ainsi que, plus la fréquence ν est grande, plus les grains indivisibles sont importants.

elle peut arracher un électron à la matière. Il suffit pour que cet arrachement ait lieu que le quantum $h\nu$ d'énergie incidente soit suffisant pour contrebalancer l'attraction (soit W) du noyau atomique sur l'électron considéré. Tout le surcroît de l'énergie $h\nu$ qui ne sera pas utilisé pour arracher l'électron servira à le repousser avec une vitesse telle que : $h\nu = W + 1/2 mV^2$ (m = masse de l'électron, V = vitesse de cet électron). En transformant cette formule on voit que la vitesse de l'électron $V = \sqrt{2 \frac{h\nu - W}{m}}$

Le travail d'extraction (W) est d'autant plus grand que l'électron est plus rapproché du noyau, il faut donc employer des ondes de fréquence d'autant plus grande que l'on veut extraire des électrons plus voisins du noyau.

Quand deux ondes de fréquence différente ont une énergie suffisante pour arracher un électron donné, si l'une a un $h\nu$ juste suffisant tandis que l'autre a un $h\nu$ beaucoup plus important, contrairement à ce que l'on pourrait penser à première vue, c'est l'onde de fréquence la plus faible qui arrachera l'électron. Il se produit, en effet, un phénomène analogue à la résonnance et ceci explique les sensibilités spécifiques que nous aurons l'occasion d'étudier plus en détail dans un instant.

Les électrons arrachés sont repoussés en dehors de l'attraction nucléaire. Si le corps sur lequel s'exerce le flux d'énergie rayonnante a une charge d'électricité négative, la répulsion exercée par cette électricité sur

l'électron libéré s'ajoute à celle que produit le surcroît ($h\nu - W$) d'énergie incidente. Elle contribue à augmenter la vitesse de l'électron et canalise sa fuite dans la direction des lignes de force électro-magnétique rayonnant autour de tous les corps chargés, le corps se décharge donc progressivement. Quant il atteint le potentiel zéro les électrons ne sont plus repoussés que par le surcroît ($h\nu - W$) de l'énergie rayonnante et, à mesure que de nouveaux électrons sont repoussés, le corps se charge positivement. Par suite des attractions électro-statiques ordinaires, la charge positive qu'acquiert progressivement le corps irradié lutte contre la fuite des électrons et l'on arrive ainsi plus ou moins vite à un état d'équilibre dans lequel l'attraction exercée sur les électrons par le corps chargé positivement contrebalance juste l'action du surcroît ($h - W$) d'énergie. Quand cet équilibre est atteint, l'effet photo émissif cesse. Le potentiel positif qu'un corps est susceptible de prendre sous l'action d'un flux d'énergie rayonnante dépend de la fréquence ν de l'onde incidente, fréquence qui détermine $h\nu$, et de la structure atomique qui détermine W . Pour les corps et les longueurs d'ondes qui nous intéressent dans la mesure des U. V. les potentiels positifs que sont susceptibles d'engendrer les $h\nu$ utilisés sont toujours très faibles.

Ces quelques explications sur l'énergie rayonnante et l'effet photo émissif permettent de comprendre le pourquoi des expériences d'Hallwachs. Elles nous permettent aussi d'aborder maintenant l'étude des différentes sortes de cellules photo-électriques.

CELLULES PHOTO-ELECTRIQUES

On appelle cellule photo-électrique un ensemble essentiellement constitué d'un corps capable d'émettre des électrons sous l'influence d'une onde de fréquence donnée et d'un récepteur chargé de capter ces électrons. Le corps émetteur s'appelle cathode, le corps récepteur anode. D'après ce que nous savons de l'effet photo-électrique, nous pouvons prévoir que, si la cathode n'atteint pas un potentiel positif supérieur à celui qui s'opposerait à l'émission des électrons sous l'influence de l' $h\nu$ incident, ce qui régira la vitesse des électrons libérés sera la différence effective de potentiel entre la cathode et l'anode, soit que cette différence provienne d'une charge négative donnée à la cathode, soit qu'elle provienne d'une charge positive donnée à l'anode.

On distingue deux grands types de cellules photo-électriques, celles fonctionnant dans le vide le plus complet possible, et celles fonctionnant dans les gaz.

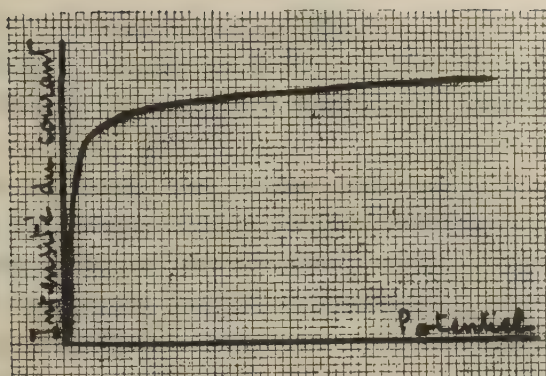
CELLULES PHOTO-ÉLECTRIQUES A VIDE POUSSÉ

C'est dans ces cellules que se produisent à l'état de pureté les phénomènes que nous venons de décrire.

Exposons une cellule à un flux de rayons U. V., tout en entretenant la cathode et l'anode au potentiel zéro, un faible courant se produit de la cathode à l'anode (1) si l'onde incidente a une fréquence suffisante pour que son $h\nu$ soit plus grand que W (force attractive exercée par le noyau sur l'électron). Dans ces conditions, en effet, l'électron quitte la cathode avec une vitesse $v = \sqrt{2\frac{h\nu - W}{m}}$. Il y a de même un faible courant si l'on charge la surface émettrice à un potentiel positif inférieur à celui qu'est susceptible de lui communiquer le flux de rayons incidents.

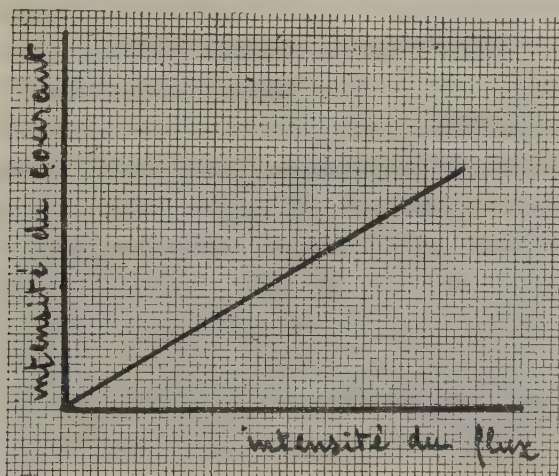
Si, maintenant, le faisceau d'U. V. étant constant, on augmente progressivement la différence de potentiel entre la substance émettrice et l'anode, de façon à favoriser le flux électronique vers celle-ci, le nombre des électrons captés par l'anode augmente progressivement jusqu'au moment où, pratiquement, tous le sont. A partir de ce moment, l'intensité du courant cathode-anode reste fixe quel que soit le surcroît de la différence de tension appliquée aux bornes. La tension juste nécessaire pour obtenir cette intensité maxima est dite tension de saturation. Si l'on établit une courbe des intensités du courant photo-électrique en fonction de la tension, le rayonnement incident étant fixe, on obtient la courbe ci-jointe dans laquelle les intensités sont en ordonnées et les tensions en abscisses.

(1) On considère ici le sens réel du courant qui est un transport d'électrons du pôle négatif au pôle positif.



Courbe n° 1

Si, maintenant, on établit la courbe des rapports existant entre l'intensité du flux incident et celle du courant cathode-anode, la tension aux bornes de la cellule étant fixe, on obtient la courbe ci-dessous dans laquelle l'intensité du courant est en ordonnées et celle du flux en abscisses.



Courbe n° 2

Cette courbe est d'ailleurs plus théorique que réelle, mais, dans les bonnes cellules à vide, le courant peut être presque exactement proportionnel à l'intensité du flux incident.

Ces cellules à vide poussé sont donc les cellules idéales au point de vue de la précision si l'on prend la précaution de ne jamais les utiliser au-dessous de la tension de saturation. Il faut cependant savoir quelles sont susceptibles d'avoir leur relation linéaire, intensité du flux-intensité photo-électrique, plus ou moins déformée. Ces perturbations proviennent, soit de pertes électriques variables, soit de fatigue temporaire ou définitive de la surface émettrice, soit encore de l'accumulation d'électrons contre les parois de la cellule, ces électrons constituent une charge spatiale et peuvent s'opposer, en partie, au libre parcours de ceux qu'émet la cathode. Malgré tout, ces cellules sont certainement les meilleures au point de vue théorique et leur seul véritable inconvénient est que leur courant cathode-anode est très faible et que pour l'utiliser, il faut le plus souvent l'amplifier.

Dans la cellule à gaz raréfié, au contraire, grâce aux phénomènes d'ionisation que nous allons maintenant aborder, le courant est très augmenté et peut être utilisé directement pour la mesure de l'énergie incidente.

CELLULES PHOTO-ÉLECTRIQUES À GAZ

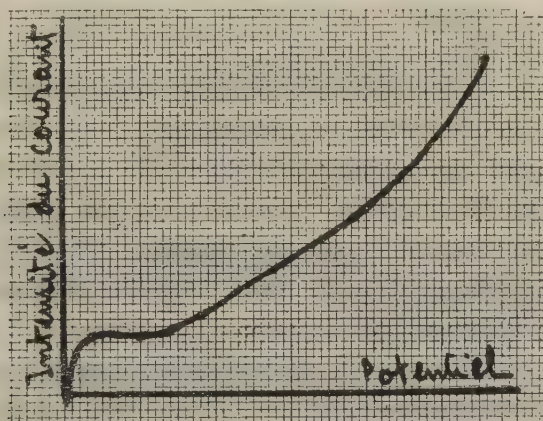
Laissons pénétrer un peu de gaz dans la cellule à vide poussé que nous venons d'étudier, très peu de façon à avoir une pression de quelques millimètres de mercure, et répétons les expériences précédemment décrites. Les électrons chassés de la cathode rencontrent, dans leur chemin vers l'anode, les atomes du gaz que nous avons laissé pénétrer. Ne considérons l'action que d'un seul de ces électrons, si sa vitesse est assez grande, la collision entraîne la libération d'un des électrons de l'atome heurté. Cet électron libéré est attiré à son tour par l'anode et cela d'autant plus vite que la différence de potentiel cathode-anode est plus grande. Au lieu de l'électron primitif il y en a maintenant deux et tous deux vont à nouveau rencontrer des atomes auxquels ils arracheront un électron et ainsi de suite, si bien que nous aurons, après quelques chocs, un nombre n d'électrons variable suivant la pression du gaz et la tension aux bornes de la cellule.

Chaque choc ralentit la vitesse des électrons et il peut se faire qu'après plusieurs chocs successifs la vitesse initiale ou acquise de l'électron ionisant soit diminuée au point de n'être plus assez forte pour arracher, lors d'un nouveau choc, un électron à l'atome rencontré. Dans ce cas de collision amortie, l'électron et l'atome restent unis et ainsi l'atome devient un ion négatif; il est attiré par l'anode et contribue à assurer le passage du courant.

Les atomes qui ont perdu un ou plusieurs électrons à la suite d'une ou plusieurs collisions sont devenus des ions positifs, attirés par la cathode ils assurent eux aussi le passage du courant.

La pression du gaz contenu dans la cellule est un des facteurs d'augmentation du courant par l'ionisation. En effet, plus la pression est grande, plus est grand le nombre des atomes contenus dans le même volume, et par conséquent, plus seront nombreuses les chances de choc entre électrons et atomes. Mais si les collisions sont trop fréquentes, les électrons arrachés par ionisation n'ont pas le temps d'acquérir une grande vitesse avant de rencontrer des atomes. Leur énergie cinétique $\frac{1}{2} mv^2$ n'étant pas assez forte pour contrebalancer l'attraction W du noyau atomique sur les électrons susceptibles d'être arrachés, il n'y a pas de nouvelle destruction, au contraire, les électrons incidents restent accolés aux atomes rencontrés et l'on a ainsi des ions négatifs. Le courant n'a pas été amplifié, il y a eu seulement substitution d'ions négatifs à des électrons, mais les charges d'électricité restent les mêmes. Pour que l'amplification se reproduise il faut augmenter la différence de potentiel entre les bornes. De cette façon la force H_e s'exerçant sur l'électron (H = champ électrique, e = charge de l'électron) est augmentée et l'accélération est plus rapide (en effet, $H_e = \frac{1}{2} mv^2$). Sitôt que H_e , suffisant pour que $\frac{1}{2} mv^2 = W$, sera l'augmentation du courant par ionisation se reproduira. Pour étudier l'influence de la tension sur l'aug-

mentation du courant photo-électrique, il faut employer un flux incident de qualité et de quantité constantes, une cellule dans laquelle la tension gazeuse est fixe et une différence de potentiel progressivement variable, ainsi, en partant de zéro et en augmentant régulièrement la différence de potentiel jusqu'à un point x, on obtient la courbe ci-dessous dans laquelle l'intensité du courant photo-électrique amplifié par l'ionisation est en ordonnées et la différence de potentiel en abscisses.



Courbe n° 3

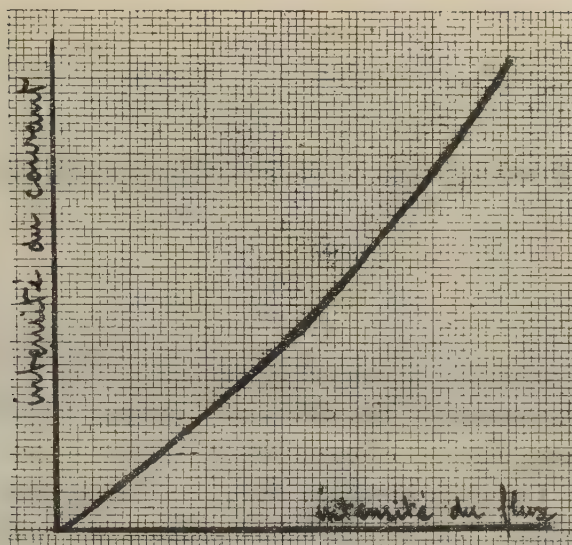
Cette courbe présente un plateau. Ce plateau se produit au moment où la tension est juste suffisante pour que toutes les collisions entre électrons et atomes engendrent une ionisation et que les électrons et les ions ainsi produits soient attirés vers l'une des élec-

trodes. Après le plateau la courbe se redresse subitement, c'est qu'ici se passe un nouveau phénomène. La tension est devenue très forte, les ions eux-mêmes sont attirés avec une grande vitesse et, à un certain moment, cette vitesse devient assez grande pour produire des arrachements d'électrons par choc contre les atomes. Or ces ions sont beaucoup plus gros que les électrons; ils rencontreront beaucoup plus d'atomes qu'eux et produiront par conséquent un très fort courant d'ionisation.

En poussant encore plus loin la tension entre les bornes on obtient une étincelle : on a atteint le potentiel explosif.

On ne doit utiliser une cellule à gaz que sous la tension de saturation et, malgré cela, le rapport entre la quantité du courant cathode-anode et celle du flux incident d'énergie rayonnante n'est pas rigoureusement représentable par une droite.

La courbe ci-dessous dans laquelle l'intensité du flux incident est représentée en abscisses et celle du courant en ordonnées montre cependant que pour la plupart des usages courants la fonction peut être considérée comme linéaire.



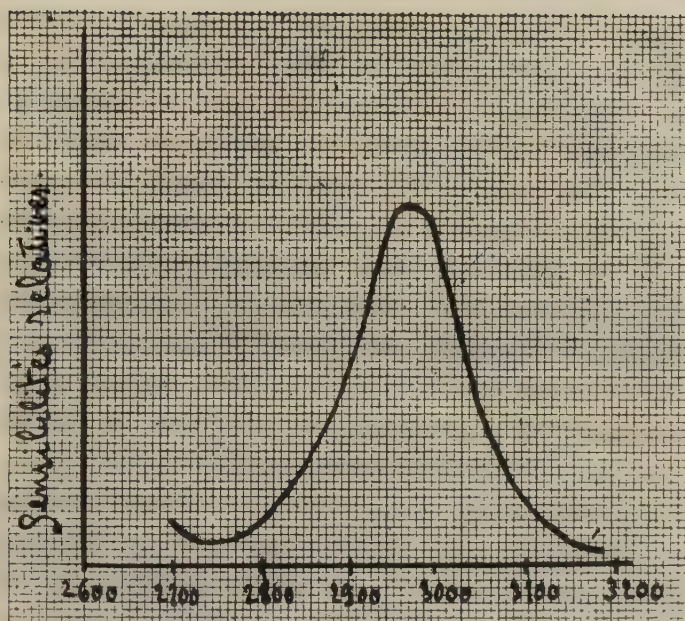
Courbe n° 4

Avec ces explications indispensables sur l'effet photo-électrique et l'ionisation on comprend maintenant comment on peut utiliser les cellules photo-électriques pour la mesure de l'énergie rayonnante.

Ces cellules sont susceptibles de mesurer les radiations infra-rouges, lumineuses et ultra-violettes, mais parmi ces radiations on peut se proposer de mesurer un domaine spectral bien limité intéressant plus spécialement le thérapeute. C'est le dosage électif que nous allons maintenant aborder.

LE DOSAGE DES U. V. EN THERAPEUTIQUE

Le rayonnement des différentes lampes d'U. V. est très complexe et essentiellement variable selon la source. Les unes sont très riches en infra-rouges, les autres assez pauvres, les unes contiennent à peu près toutes les longueurs d'ondes comprises dans la gamme lumineuse, les autres en sont relativement dépourvues, enfin, l'U. V. émis par les unes et les autres est loin d'être comparable. Si l'on dose l'ensemble du rayonnement émis par ces différentes sources on ne pourra pas transposer le résultat en clinique car la peau est sensible surtout à certaines longueurs d'ondes bien déterminées que l'on appelle rayons érythémateux. Ces rayons érythémateux correspondent à ceux que le « Comité International de fixation d'une unité de mesure pour les U. V. employés en thérapeutique » a appelé U. V. B. Nous donnons ci-dessous une courbe représentant la vitesse relative avec laquelle la peau humaine est rougie par les diverses longueurs d'ondes du rayonnement solaire. Il faut donc trier les U. V. et les doser séparément.



Courbe n° 5

Sensibilités relatives de la peau (1) humaine aux différentes longueurs d'ondes du spectre solaire.

On peut imaginer trois méthodes de triage : la filtration, la dispersion, la sélectivité.

LA FILTRATION

On peut envisager la possibilité d'arrêter toutes les ondes incidentes n'ayant pas la fréquence désirée.

(1) Les cinq première courbes que nous publions ont été empruntées au livre « Les cellules photo-électriques et leurs applications » de Zworykin et Wilson.

Ainsi, en plaçant un verre de Wood devant un appareil de mesure, on ne dose que le rayonnement compris entre 3.800 et 3.300 Å. Malheureusement on n'a pas encore trouvé de substance dont la courbe de transparence soit parallèle à la courbe de sensibilité cutanée. On ne peut donc pas, par simple interposition d'écran, séparer les rayons érythémateux de l'ensemble du spectre. On peut cependant arriver par ce procédé à connaître suffisamment le rayonnement émis mais il faut agir par étapes. Saidman dose d'abord l'intensité totale du rayonnement puis, avec un verre transparent jusqu'à 2.700 Å, il étudie la portion du spectre possédant des longueurs d'ondes plus grandes que cette limite, enfin il fait une mesure avec un verre arrêtant tous les rayons ayant moins de 3.200 Å. Il connaît ainsi, assez bien, la répartition générale des longueurs d'ondes qu'il utilise et il peut apprécier, d'assez près, l'intensité des rayons érythémateux qui sont justement ceux compris entre 3.200 et 2.700 Å. Cependant, comme il emploie, en fait d'unité de mesure, le virage de papiers photographiques, les résultats qu'il obtient sont assez délicats à interpréter et il en donne lui-même la raison dans son beau livre « Les rayons U. V. en Thérapeutique ». « L'inconvénient de tous les photomètres est de nécessiter un facteur subjectif dans l'appréciation des teintes; c'est pourquoi plusieurs observateurs mesurant la même quantité de rayons trouvent un temps de virage tout à fait différent avec des erreurs pouvant dépasser le tiers du temps de l'exposition. Ainsi lorsque l'on se

sert de réactions chimiques, il sera plus précis de recourir à des substances dont on puisse doser la quantité détruite par les rayons U. V. ». C'est en partie cette difficulté d'apprécier avec exactitude l'intensité des virages obtenus après irradiation plus ou moins prolongée qui a poussé le Comité International, dont nous avons déjà fait mention, à préconiser les piles thermo-électriques comme appareil de mesure et à conseiller d'exprimer, de préférence, les résultats en millicalories-grammes par centimètre carré et minute.

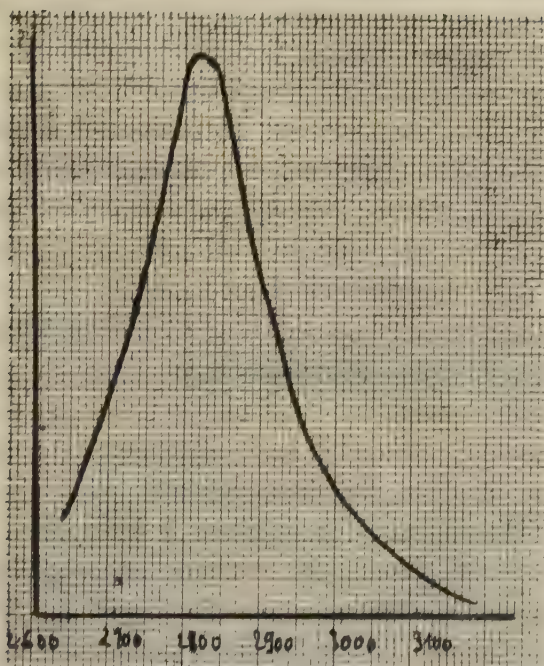
LA DISPERSION

La seconde méthode que nous pouvons envisager consiste à dissocier le spectre par un monochromateur. Si l'on reçoit un mince faisceau de rayonnement sur un prisme de quartz, les rayons sont dispersés et cela d'autant mieux que le faisceau incident est plus mince. En promenant un appareil de mesure devant le rayonnement ainsi dispersé on peut doser à volonté tel ou tel rayon du spectre. L'inconvénient de cette méthode provient de l'extrême sensibilité qu'il faut donner aux appareils de mesures : on opère, en effet, que sur une toute petite partie du rayonnement contenu dans un très mince faisceau d'ondes. Ce procédé est donc excellent pour les recherches délicates et très précises mais inapplicable dans la pratique courante.

LA SÉLECTIVITÉ

Au lieu de filtrer les différentes longueurs d'ondes afin de n'en mesurer qu'une, avec un appareil qui serait susceptible de les mesurer toutes, ne pourrait-on pas utiliser un appareil dosant d'une façon sélective les longueurs d'ondes thérapeutiques?

Nous avons vu que l'effet photo-électrique ne se produit que si le flux d'énergie incidente possède un $h\nu$ suffisant pour vaincre l'attraction exercée par le noyau sur un électron périphérique et qu'il se produit au maximum quand cet $h\nu$ est à peine plus grand que W (W = force attractive du noyau sur l'électron), c'est ce qu'on appelle la résonnance. Selon les corps envisagés, la résonnance se produit pour telle ou telle fréquence, c'est ainsi que le rubidium a un effet photo-électrique maximum pour 4.820 Å et le potassium pour 4.350 Å. Si on trouvait un corps ayant son maximum d'effet photo-électrique pour 2.900 Å, longueur d'ondes produisant au maximum l'érythème cutané, les mesures que l'on prendrait avec ce corps seraient peut-être directement transposables en clinique. Depuis longtemps déjà, de nombreux expérimentateurs ont construit et essayé des cellules au cadmium. Le cadmium, en effet, a une courbe de sensibilité élective assez voisine de celle de la peau.



Courbe n° 6

Empruntée à A. Chevalier et P. Dubouloz.

(*Journal de Radiologie*, sept. 1932)

Il est donc possible qu'en dosant un faisceau d'U. V. avec une cellule au cadmium on obtienne des résultats directement applicables à l'actinothérapie. C'est avec cette idée que nous avons commencé ce travail et tout notre espoir de succès se résumait dans cette phrase de Saidman (*Les U. V. en thérapeutique*) : « Il est très possible que les cellules photo-électriques qui, à l'heure actuelle, ne sont employées que par des

physiciens, se répandent, si on les simplifie, dans la pratique de l'actinologie. » Cette simplification était d'ailleurs assez difficile à envisager. Si l'on emploie des cellules à vide poussé, on obtient des courants d'intensité infime qu'il faut amplifier ou mesurer avec des appareils très sensibles et par conséquent délicats et coûteux. Si, au contraire, on emploie des cellules à gaz, assez rapidement pour les unes, très rapidement pour les autres, selon le gaz contenu, l'intensité du courant photo-électrique émis pour un même rayonnement incident diminue dans des proportions telles que la cellule devient inutilisable. Ce phénomène se produit avec une rapidité beaucoup plus grande si l'on fait des mesures à l'air libre. Cette diminution d'intensité du courant constitue ce que l'on appelle la fatigue photo-électrique. « L'origine de cette fatigue a été l'objet d'un certain nombre d'hypothèses. On l'a attribuée à l'oxydation de la surface (Knoblauch), et Dima a montré que les bi-oxydes des métaux se fatiguent peu ou pas alors que les proto-oxydes montrent le phénomène. On a pensé à une modification de l'état physique, le polissage donnant un effet plus grand. Lenard croit à un changement électrique dans les couches superficielles. Ramsay et Spencer l'attribuent à une désintégration du métal due à l'expulsion des électrons par la lumière, hypothèse très vraisemblable.

Bien que les causes de la fatigue puissent ne pas être les mêmes dans tous les cas on tend à admettre avec Hallwachs qu'elle est due aux gaz entourant la

plaque ou inclus à la surface du métal. L'ozone aurait le rôle le plus actif. D'après la plupart des recherches récentes la fatigue ne se produit pas dans le vide.

C'est pour éviter les erreurs dues à la fatigue photo-électrique que les procédés de mesure basés sur l'effet Hertz-Hallwachs utilisent une plaque métallique à l'intérieur d'une enceinte vide ou remplie d'un gaz inerte (Cellules), (1).

Mes ces cellules à vide poussé ou à gaz inerte ne sont pas entrées dans le domaine de la pratique courante. Elles coûtent, en effet, très cher, peut-être à cause de la difficulté de travailler le quartz, et, comme nous l'avons dit, les seules avec lesquelles on puisse, si elles sont bonnes, être assuré d'un rendement constant, celles à vide poussé, ont un débit très faible. Comment donc tourner la difficulté?

Solomon a eu l'idée d'employer une cellule excessivement simple et pratique fonctionnant à l'air libre. Cette cellule se branche sur un électroscope entièrement comparable à celui que contient l'ionomètre universellement connu du même auteur. Nous allons maintenant décrire la cellule de Solomon et ses avantages.

(1) Nous avons tenu à reproduire in-extenso ce passage de Saidman (Les rayons U. V.; en thérapeutique, page 250), parce que c'est grâce à lui que nous avons eu dès le début de nos recherches une mise au point complète et précise des diverses opinions sur la fatigue photo-électrique.

CELLULE PHOTO-ÉLECTRIQUE DE SOLOMON; SES RÉSULTATS

Cette cellule, comme nous venons de le dire, est très simple. La surface émettrice est composée par une plaque circulaire de cadmium ayant environ 4 centimètres de diamètre et 3 millimètres d'épaisseur. L'anode est constituée par la paroi métallique de la cellule, elle a la forme d'un cylindre creux complètement ouvert à l'extrémité destinée à laisser passer le flux ultra-violet. Primitivement M. Solomon avait prévu une plaque circulaire de quartz obturant cette extrémité mais, comme elle ne s'est pas montrée indispensable, on peut la supprimer, afin de simplifier encore la cellule. L'autre extrémité est percée d'un orifice circulaire de 2 centimètres de diamètre duquel part une douille analogue à celles d'usage courant dans les installations électriques. La portion interne de cette douille est remplie par un corps isolant (soufre ou ébonite) qui constitue ainsi un cylindre obturant l'orifice postérieur de la paroi. Ce cylindre est traversé suivant son axe par une tige conductrice faisant saillie à l'intérieur de la cellule et supportant la cathode qui se trouve ainsi isolée. La portion externe de la tige conductrice affleure la surface de l'isolant, elle est en contact, quand la cellule est branchée sur l'ionomètre, avec un conducteur en connexion avec l'électroscope. De cette façon la cathode est reliée à l'électroscope tandis que l'anode (paroi métallique de la cellule) est connectée à la terre par l'intermédiaire de la douille se branchant sur l'ionomètre qui lui-même est au sol.

Pour la commodité des expériences, on peut, quand le flux des rayons U. V. est intense, munir l'ouverture de la cellule d'un diaphragme, afin d'allonger le temps de chute de l'électroscope. On a, en effet, avantage à avoir des temps de chute un peu long; de cette façon les petites erreurs inhérentes à toute méthode de mesure nécessitant la mise en jeu de réflexes (mise en marche et arrêt du chronomètre) sont insignifiantes en comparaison de la durée totale de l'expérience.

Avec une cellule ainsi conçue, on doit s'attendre à une fatigue photo-électrique rapide et intense, mais, comme la cathode est très facilement accessible, il semble que l'on puisse obvier à cet inconvénient en rénovant ou en changeant de temps à autre la plaque de cadmium. Dans une première série de mesures nous avons recherché le temps d'utilisation possible de la cellule avant les premières manifestations de la fatigue photo-électrique. Nous avons pris pour cela une cathode fabriquée depuis longtemps, donc déjà oxydée, mais ayant relativement peu servi. Après plusieurs jours de recherches nous pouvions tirer ces conclusions :

1° Deux ou plusieurs mesures faites coup sur coup donnent des résultats très sensiblement constants, on doit donc pouvoir comparer l'intensité de plusieurs lampes.

2° Si l'on irradie pendant longtemps une plaque de cadmium, sa sensibilité diminue progressivement et, après plusieurs heures d'irradiation, le temps de chute de l'électroscope est presque doublé.

3° Après un repos de 24 heures, la cellule photo-électrique récupère une partie de sa sensibilité perdue. On trouve, pour un même flux de rayonnement incident, des chutes un peu plus rapides qu'à la fin des irradiations de la veille, mais nettement plus longues que celles du début de ces irradiations.

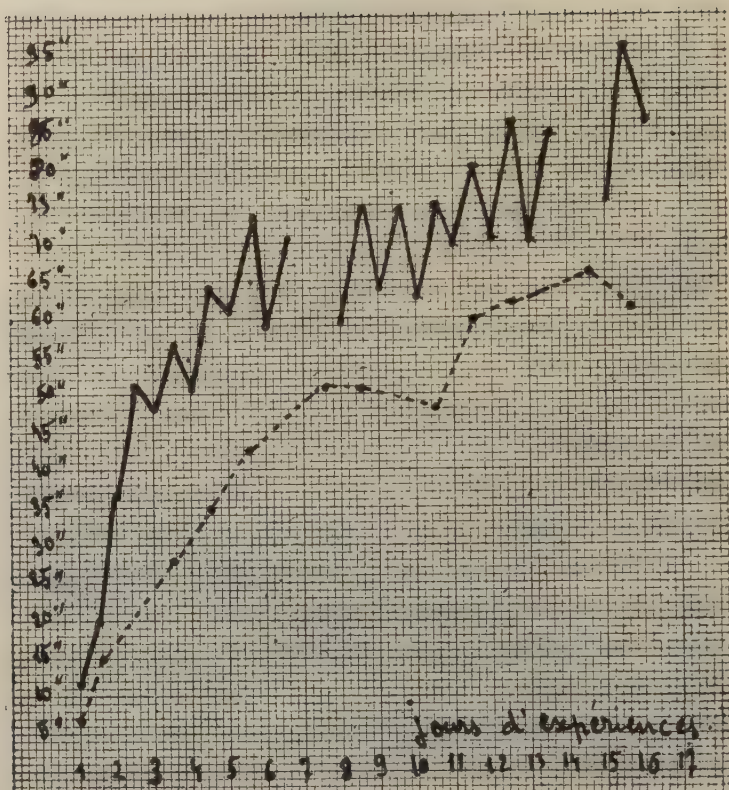
4° Un simple nettoyage au chiffon de la surface du cadmium diminue le temps de chute au point de le rendre tout à fait comparable à ce qu'il était au début de la série d'irradiations.

Ce premier groupe de mesures permet donc d'envisager la possibilité de comparer deux lampes entre elles par deux mesures successives, ou même de mesurer la richesse réelle d'une lampe en U. V. à la condition de ressensibiliser le cadmium auparavant.

On pourrait peut-être, d'ailleurs, après quelques jours d'irradiation systématique, obtenir une fatigue photo-électrique telle qu'elle puisse être considérée comme définitive. Si l'on arrive à atteindre la saturation de la fatigue photo-électrique on aura des mesures donnant des résultats constants sans qu'il soit besoin de nettoyages continuels. Pour vérifier cette hypothèse nous avons entrepris une série d'irradiations prolongées avec une lampe à arc Kandem marchant sur courant alternatif 220 volts. Nous avons choisi cette lampe de préférence à cause de sa constance. Quand une paire de charbons est usée il suffit en effet d'en mettre une neuve pour avoir un flux d'U. V. absolument comparable au premier par sa qualité et sa richesse. Avec une lampe à mercure, au

contraire, le brûleur s'use progressivement et au fur et à mesure de l'usure le spectre devient moins intense. Nous avons également préféré la lampe Kandem à cause de sa grande puissance : avec elle nous avons obtenu des érythèmes quatre fois plus rapidement qu'avec une lampe à mercure du système courant.

Au début de cette série d'expériences nous avons très sérieusement nettoyé la surface de la cathode qui pouvait ainsi être considérée comme neuve. Nous avons fait des irradiations systématiques pendant quinze jours de suite, à raison de deux heures par jour. Toutes ces irradiations ont été faites à 60 centimètres de la lampe, mais nous avons pris les mesures à 1 m. 20 afin d'avoir des temps de chute assez longs pour pouvoir être mesurés avec quelque exactitude. Après ces quinze jours d'irradiation nous avons perdu tout espoir d'obtenir une stabilisation de la fatigue photo-électrique. Nous reproduisons la courbe que nous avons obtenue parce qu'elle est assez démonstrative. Sur cette courbe, nous n'avons marqué que la première et la dernière mesure de chaque jour.



Courbe 7

La courbe en traits pleins est celle que l'on a obtenue quand on a essayé de former une cellule.

La courbe en traits pointillés indique la diminution spontanée de la sensibilité photo-électrique du cadmium.

Au début, sitôt après le nettoyage du cadmium, nous avons une décharge complète de l'électroscope en 13 secondes, cinquante mesures successives nous ont donné :

13" — 14" — 13" — 13" — 13" — 13" — 13" —
 13" 1/2 — 13" — 14" — 14" — 14" — 14" — 14" —
 14" — 14" — 14" — 14" — 14" — 14" — 14" — 15" —
 14" — 14" 1/2 — 15" — 16" — 16" — 15" — 16" —
 16" — 16" — 15" — 16" — 16" — 16" — 15" — 15" —
 15" 1/2 — 17" — 17" — 17" — 16" — 16" — 17" —
 17" — 17" — 16" 1/2 — 17" — 17".

Après une heure d'irradiation on obtenait des temps de chute de : 22" 22 22.

Le lendemain matin, la même chute nécessitait une irradiation de 40" puis de 52" après deux heures d'exposition systématique à 60 centimètres de la lampe.

D'où provient cette différence si nette entre les temps de chute de ces deux jours d'expérience, différence en contradiction avec ce que nous avons observé dans la première série de mesures où le temps de chute s'allongeait si l'on faisait des irradiations prolongées et diminuait, sans toutefois redevenir semblable à ce qu'il était au début, si on laissait reposer la cellule ? Toutes les conditions étaient les mêmes pour ces deux séries d'expérimentations, mais avant la deuxième on avait nettoyé la cathode. La différence provenait sans doute de ce nettoyage. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons nettoyé un second échantillon de cadmium et l'avons monté sur une autre cellule. Trois mesures successives nous ont donné une chute complète de l'électroscope en 5". Le lendemain, la chute se faisait en 13". L'on ne pouvait guère invoquer la longue durée de l'irradiation comme cause de fatigue : nous n'avions pas mis plus d'une minute

en tout à faire nos différentes mesures. Cette expérience confirmait notre idée que l'allongement du temps de chute dans les heures qui suivent le nettoyage du cadmium ne provient pas directement de l'irradiation. Peut-être cette diminution de sensibilité était-elle dûe à une altération de la surface cathodique causée par les gaz occlus dans la cellule. Dans ce cas, en irradiant à l'air libre une plaque de cadmium fraîchement nettoyée, avec un simple fil de cuivre tendu devant elle en guise d'anode, et en emportant immédiatement cette plaque de cadmium à l'abri des gaz susceptibles d'être engendrés par l'irradiation, on éviterait au maximum toute attaque du métal. Nous avons fait cette expérience; après un nettoyage très sérieux du cadmium, la chute était de 4". Nous avons pris trois mesures, chacune étant destinée à contrôler les deux autres, puis nous avons mis immédiatement le cadmium dans une pièce voisine. Une heure après, la chute nécessitait 13". En recommençant l'expérience avec un autre échantillon de cadmium, nous avons eu d'abord une chute en 4", mais le lendemain il en fallait 42.

Nous considérons donc que les variations rapides que l'on observe dans la sensibilité du cadmium, sitôt après un nettoyage, variations très largement indépendantes de la durée totale des irradiations, sont dues à des altérations superficielles de la surface émettrice. Ces altérations sont très probablement des oxydations qui ne sont d'ailleurs pas forcément liées à la présence d'ozone puisqu'elles se produisent d'autant plus que le cadmium est exposé à l'air plus libre.

Revenons maintenant à notre essai de formation de la cellule. Le deuxième jour l'augmentation rapide à type spécial s'est arrêtée et l'on a obtenu, à nouveau, une courbe régulièrement ascendante. Contrairement à notre espoir, il n'y avait aucune tendance à la saturation de la fatigue.

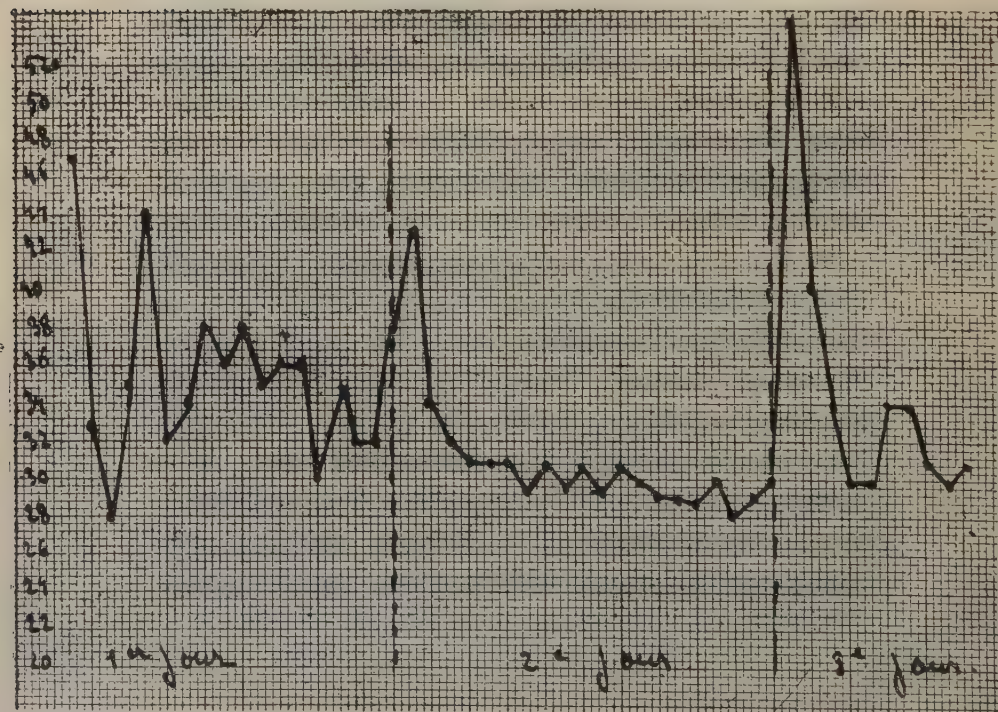
Nous avons pensé qu'il pourrait être intéressant de faire la part de la diminution de la sensibilité due à la fatigue photo-électrique réelle et de celle due au vieillissement spontané de la surface du cadmium. Dans ce but, après un nettoyage initial, nous avons établi une courbe (courbe pointillée de la page 42) des résultats obtenus avec une cellule dont nous ne nous servions qu'une fois par jour et pour une seule mesure. Cette courbe montre que la plus grande partie de ce qu'on appelle la fatigue photo-électrique n'est pas due, tout au moins pour des cellules fonctionnant à l'air libre, à l'action directe ou indirecte des radiations. D'ailleurs, la cause réelle de la fatigue nous importe peu. Elle existe, c'est évident. Pour que la cellule soit utilisable il faut trouver un moyen d'y obvier.

Puisque on ne peut pas, par irradiation prolongée, stabiliser la sensibilité, on ne peut compter que sur des nettoyages successifs pour avoir un effet photo-électrique constant. Il s'agit de trouver un procédé simple et pratique pour rénover la paroi métallique.

Le premier procédé que nous avons essayé est le nettoyage avec un chiffon assez dur. Nous donnons la courbe des résultats que nous avons obtenus. Cette courbe est divisée en trois portions, chaque portion

correspond à un jour, chaque jour nous avons effectué 20 mesures précédées chacune d'un nettoyage. On voit nettement d'après cette figure qu'un seul nettoyage, si soigneux fut-il, n'est pas suffisant pour rendre au cadmium sa sensibilité maxima, mais après quatre à cinq essais on peut considérer les résultats comme constants.

Devant ce demi-échec, nous avons cessé nos expériences de nettoyage avec un simple chiffon. La méthode, si elle permettait d'arriver en peu de temps à une exactitude relative mais bien suffisante dans la pratique médicale, n'était absolument pas utilisable : aucun clinicien ne s'y résoudrait. Il fallait trouver autre chose.



Courbe n° 8

Nous avons pensé, alors, à employer un des nombreux décapants en usage courant dans le commerce. Ce procédé ne nous a d'ailleurs pas donné plus de satisfactions que le précédent. La sensibilité du cadmium était nettement plus forte après un nettoyage avec produit décapant qu'après un simple nettoyage au chiffon, mais les résultats étaient très inconstants. Nous avons, en effet, obtenu des différences de près de 50 % dans les temps de décharge de l'électroscope malgré des nettoyages faits de façon identique.

Après de nombreux essais avec diverses techniques nous sommes arrivés à cette conclusion que quel que soit le procédé que l'on emploie pour essayer de rénover la substance émissive on ne peut pas affirmer que l'on a obtenu la sensibilité maxima. Le principe de rénovation se trouve ainsi condamné.

Abandonnant donc l'idée de ressensibiliser la surface du cadmium avant chaque mesure, nous avons pensé que le mieux serait de changer cette surface. Pour cela il suffisait d'employer la toile émeri. Une série de mesures réparties sur quatre jours nous a donné des temps de chute de : 19" — 20" — 20" — 18" — 20" — 18" — 17" — 17" — 18" — 17" — 18" — 16" — 14. — Si l'on excepte les deux derniers résultats qui sont un peu discordants, peut-être par suite d'une pointe d'émission plus forte de la lampe, on voit que les temps de chute sont assez constants. On aurait pu espérer obtenir de bons résultats en passant dans le domaine de l'application en pathologie. M. Solomon, à qui nous communiquions journallement le relevé de

nos mesures a craint que le nettoyage du cadmium avec une toile à la limaille de fer modifiât la sensibilité élective. Ne pourrait-on pas arguer, en effet, qu'il pouvait rester quelques particules de limaille de fer sur la surface émissive, particules qui ajouteraient leur pouvoir photo-électrique à celui du cadmium et modifieraient, ainsi, la zone de sensibilité élective. Pour éviter cet inconvénient, nous avons substitué le nettoyage au papier de verre à celui avec la toile à la limaille de fer. Voici les résultats que nous avons obtenus en cinq jours successifs : 20" — 16" — 18" — 21" — 18" — 18" — 16" 1/2 — 15" — 15" — 17" — 14" — 17" — 13" — 16" — 13" — 14" — 14" — 10" — 9" — 12" — 16" — 14" — 13" — 13" — 13" — 14" — 15" — 16".

Comme on le voit immédiatement, les différences maxima (21-9) sont beaucoup trop fortes pour pouvoir être attribuées à des écarts possibles du régime de la lampe. Il y avait donc un point défectueux dans la méthode. La cause de troubles pouvait être attribuée à la substance adhésive qui, dans tous les papiers de verre, retient les particules limantes contre le carton. Quoiqu'il en soit on ne pouvait pas compter sur cette méthode.

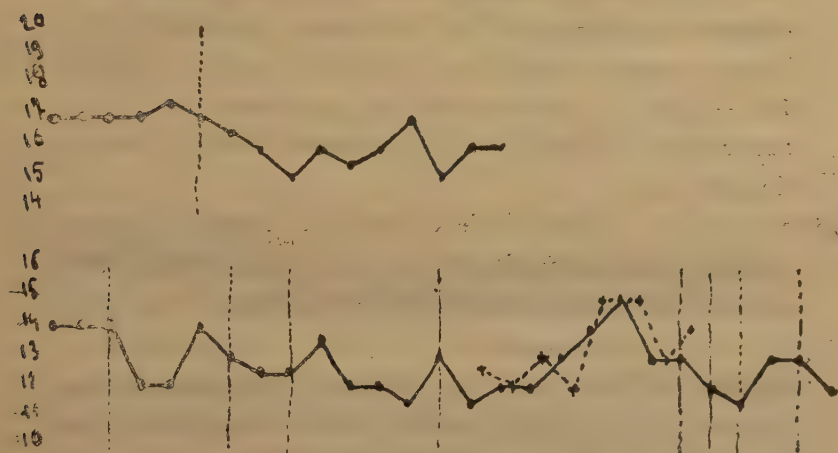
Comment donc changer facilement la surface du cadmium? Nous avons pensé au linage, le cadmium tout en étant assez dur pour ne pas empâter les limes, est un métal mou et se laisse très facilement limer sans que la lime puisse s'user contre lui. On ne risque pas, dans ces conditions, de laisser à sa surface des

particules d'acier qui seraient gênantes pour les expériences. Une série de six mesures précédées chacune d'un limage nous a donné comme temps de chute : $17''$ — $17''$ — $17''$ — $17''$ — $17'' \frac{1}{2}$ — $17''$. — Devant ces résultats, nous avons fait une mesure dans les mêmes conditions avec un autre échantillon de cadmium. Nous avons également obtenu une chute en $17''$.

Le lendemain, reprenant nos expériences, nous avons trouvé des temps de chute de : $16'' \frac{1}{2}$ — $16''$ — $15''$ — $16''$ — $15'' \frac{1}{2}$ — $16''$ — $17''$ — $15''$ — $16''$ — $16''$. — Ces résultats, tout en étant encore très constants, le sont cependant un peu moins que les précédents, mais nous croyons qu'il faut attribuer les légères irrégularités à des oscillations du secteur électrique. En effet, pour vérifier ces mesures, nous en avons fait d'autres avec un second échantillon de cadmium. Les mesures étaient faites avec la même cellule mais alternativement avec l'une puis l'autre cathode. Les résultats de ces mesures intercalées ont été tout à fait concordants. Ainsi quand nous avons trouvé $15''$ avec le premier échantillon nous avons trouvé $15'' \frac{1}{2}$ avec le second. Nous allions poursuivre cette série d'expériences, afin de ne rien affirmer sans preuves convaincantes quand, par suite d'une charge trop forte donnée à l'électroscope, la feuille métallique mobile est venue au contact de la paroi de l'ionomètre et a été volatilisée. Nous avons recommencé nos mesures après réparation de l'appareil mais à priori il ne fallait pas s'attendre à obtenir les mêmes

résultats que précédemment, puisque les données n'étaient plus les mêmes. Après un premier limage nous obtenions, en effet, des temps de chute en 14", un deuxième nettoyage nous donnait également 14" et un troisième 13" 1/2 — 14" — 14". Le lendemain, un premier limage donnait 12" — 12" — 12" — et un deuxième 12" également. Prenant le second échantillon de cadmium comme témoin nous obtenions après limage 14". Surpris par cette différence 14" — 12", nous avons repris immédiatement le premier échantillon qui nous a donné également une chute en 14", nous avons donc attribué ces variations à une différence d'émission de la lampe. Pour nous en assurer nous avons fait quatre mesures alternées avec les deux échantillons de cadmium, ces mesures ont donné 14" — 14" — 13" — 14". En continuant plusieurs jours cette série d'expériences, on pouvait établir la courbe suivante dans laquelle chaque point correspond à une mesure faite sitôt après un limage superficiel du cadmium, entre chaque séparation verticale se trouvent les mesures effectuées en un même jour. Dans cette courbe on remarque un léger clocher correspondant à des variations allant de 11" 1/2 à 15". Justement le jour où nous avons observé ces écarts, nous méfiant des irrégularités possibles du secteur, nous n'avons pratiqué que des mesures couplées : si l'on superpose les courbes ainsi obtenues, la courbe en pointillé correspondant aux mesures prises avec la cathode témoin, on voit très nettement que les variations observées avec les deux cathodes sont paral-

lèles : elles doivent donc être attribuées à la lampe et non aux cathodes elles-mêmes.



Courbe n° 9

Courbes obtenues pendant les séries de mesures après limages successifs.

D'ailleurs comparant les résultats que nous avons obtenus avec la cellule de Solomon et ceux que nous a donnés la cellule d'Elster et Geitel, cellule à cathode de cadmium et à atmosphère raréfié d'Argon, nous avons trouvé que les variations d'une mesure à l'autre étaient du même ordre.

Il nous semble que ces différentes expériences sont assez probantes et que l'on peut considérer les résultats comme constants. Les différences maxima 11' 1/2 — 15" que nous avons observées sont en effet assez grandes, mais nous tenons à faire remarquer que dans les nombreuses mesures que nous avons faites

nous ne les avons trouvées qu'un jour et qu'immédiatement après les mesures donnant une chute en 15" l'arc s'est spontanément désamorcé. Les différences compatibles avec le fonctionnement normal de la lampe doivent plutôt être considérées comme étant 14" — 11"1/2, ce qui donne 2" 1/2 pour un temps moyen de 13" : même pas 1/5 par conséquent du temps de chute.

Que cette différence de 1/5 soit due comme nous le pensons à des irrégularités du secteur ou qu'elle soit due aux difficultés inhérentes à la méthode, cela n'a au fond qu'une importance relative : une différence de dose de 1/5 n'étant pas suffisante dans le domaine de l'actinologie pour provoquer des accidents ni même des ennuis quelconques.

Nous pensons donc pouvoir affirmer que : *moyennant un simple limage superficiel de la cathode amovible, la cellule de Solomon donne des résultats très constants, que les mesures soient faites successivement ou après un long intervalle; ces résultats, sans avoir une précision toute mathématique, sont aussi constants que peuvent l'être des mesures prises avec une source lumineuse dont le régime n'est pas forcément toujours semblable à lui-même.*

APPLICATIONS THERAPEUTIQUES DES CELLULES PHOTO-ELECTRIQUES

En commençant ce travail, nous ne nous sommes pas seulement proposé de rechercher si une cellule simple et fonctionnant à l'air libre pouvait être régulière, nous voulions aussi étudier les applications thérapeutiques que l'on peut attendre d'un tel instrument de mesures. Il fallait chercher dans quelles proportions les résultats obtenus étaient transposables en clinique. Pour cela nous nous sommes servis de deux lampes très différentes : l'une à brûleur de mercure était une lampe Gallois de type courant, marchant sur secteur alternatif de 110 volts, l'autre était la lampe Kandem dont nous avons parlé, nous l'avons utilisée avec des charbons métallisés au fer.

Pour comparer les régimes en U. V. érythémateux de ces deux lampes, nous avons fait avec chacune plusieurs mesures en nous plaçant exactement dans les mêmes conditions. Avec la lampe à mercure, nous avons trouvé un temps de chute moyen de 72" alors que nous trouvions 12" en moyenne avec la lampe à arc. Nous avons donc avec les deux lampes le rapport 72"/12, ce qui revient à 6/1. En irradiant

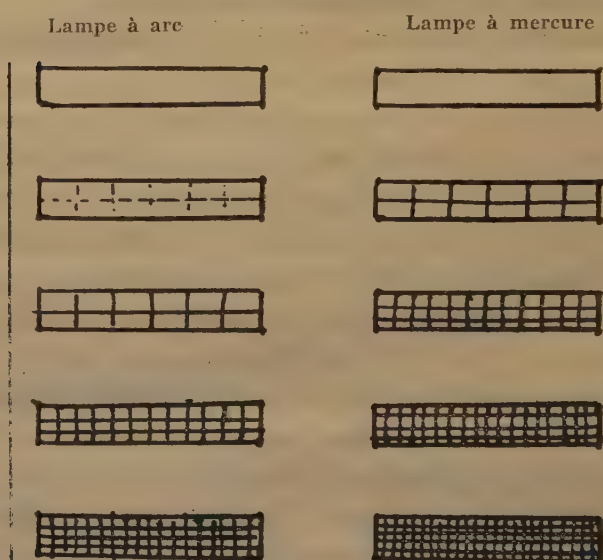
six fois plus longtemps avec la lampe à mercure obtiendrait-on les mêmes réactions érythémateuses qu'avec la lampe Kandem? Si nous avions dû nous prononcer à priori, nous aurions été porté à dire que les effets seraient d'intensité comparable sans être superposables. En effet, bien que donnant sensiblement une même dose de rayons érythémateux avec les deux techniques, on se sert de spectres très différents et rien ne permet de dire à priori que seuls les rayons érythémateux auront une action.

La lampe Kandem à charbons métallisés au fer à un spectre poussé plus loin dans l'U. V. que celui du soleil mais assez voisin cependant de celui-ci. Il est, entre autres, riche en infra-rouges. On doit donc observer entre l'infra-rouge et l'ultra-violet émis par cette source un antagonisme analogue à celui que l'on observe avec le soleil. En effet : « Pour Dufestel, il y a dans la radiation solaire deux éléments : 1° l'action thermique utilisée en thermothérapie; 2° l'action chimique, utilisée en actinothérapie... Les radiations calorifiques et actiniques auront une action antagoniste les unes sur les autres. En altitude les êtres vivants sont entourés d'une gaine de vapeur d'eau imperméable aux infra-rouges, d'où dermites (coups de soleil des glaciers). Il en est de même au bord de la mer (coups de soleil maritimes) ». (Carnot, *Thérapeutique*, tome II, pages 332, 333).

S'il en était ainsi on devrait donner plus de rayons érythémateux avec la lampe Kandem qu'avec la lampe à arc pour atteindre un même degré de réac-

tion cutanée. Pour nous rendre compte de l'exactitude de nos prévisions, nous avons irradié systématiquement plusieurs sujets avec les deux lampes. Mais la sensibilité cutanée aux U. V. n'est pas la même à tous les points du corps, si l'on veut faire des irradiations comparatives, il faut irradier avec les différentes sources des régions absolument symétriques. Nous avons choisi la région dorsale comme étant la plus pratique. Pour limiter les champs d'irradiation, nous avons utilisé très simplement une feuille de carton souple dans laquelle nous avons découpé cinq bandes parallèles de 1 cm. de large sur 5 cm. de long. Cette feuille de carton était appliquée d'abord d'un côté du dos, tout le reste du corps étant soustrait à l'action des rayons, puis de l'autre côté, sur la région symétrique à la première irradiée. Au début de l'irradiation on ne laissait qu'une bande exposée à l'U. V. puis, après un temps donné, on en découvrait une seconde, puis une troisième, etc. En définitive on avait irradié les cinq bandes pendant des durées étant entre elles comme 5, 4, 3, 2, 1. Du côté opposé, on procédait de la même façon, mais pour chaque bande on posait un temps tel que la quantité d'U. V. érythémateux donnée fut la même que pour les bandes correspondantes du premier côté. Ainsi, le jour où nous avons eu le rapport 6/1 entre la lampe à vapeur de mercure et la lampe Kandem, nous avons pratiqué cinq irradiations de 6 minutes, à 1 m. 20 de distance, avec la lampe à mercure et cinq irradiations d'une minute, également à 1 m. 20, avec la lampe Kandem.

Pour que les effets physiologiques puissent être considérés comme semblables il fallait que les érythèmes observés avec les deux lampes soient de même teinte, or l'érythème obtenu avec la lampe à vapeur de mercure était nettement plus marqué que celui obtenu avec la lampe à arc. D'une façon approchée, on peut dire que l'érythème de la bande irradiée 24 minutes



Intensités comparées des érythèmes obtenus avec la lampe à arc Kandem (charbons minéralisés au fer) et avec une lampe à vapeur de mercure, pour une même quantité de rayons érythémateux.

avec la lampe à vapeur de mercure correspondait à celui obtenu pour une irradiation de 5 minutes avec la lampe à arc. En d'autres termes, l'érythème de la bande 5 avec la lampe à arc correspondait à peu près à celui de la bande 4 avec la lampe à mercure et

celui de la lampe 4 avec la lampe à arc correspondait à celui de la bande 3 avec la lampe à mercure. D'autres mesures effectuées dans des circonstances analogues nous ont donné des résultats tout à fait superposables. Ainsi, comme nous le prévoyions, il est possible de donner plus d'U. V. érythémateux avec la lampe à arc qu'avec la lampe à vapeur de mercure, si toutefois l'on admet, comme l'ont fait jusqu'à présent de nombreux chercheurs, que la courbe de sensibilité du cadmium et celle de la sensibilité cutanée sont suffisamment voisines pour être considérées comme semblables.

Depuis longtemps on a remarqué que certaines affections réagissent beaucoup mieux avec les lampes à arc qu'avec les lampes à vapeur de mercure. Ces différences d'action proviennent très probablement du fait que, prenant l'érythème comme point de comparaison entre les différentes sources, on ne compare qu'une faible partie des spectres. Les diverses affections relevant de l'actinologie peuvent avoir des courbes de sensibilité spécifique très différentes de celle de la peau. Les longueurs d'ondes efficaces dans ces affections n'ont pas obligatoirement la même richesse relative, dans les différents spectres, que les rayons érythémateux. Il nous semble cependant, qu'au moins pour un certain nombre d'affections, on pourrait donner une explication différente à ces phénomènes. Quand on ne recherche pas directement l'effet érythémateux, il peut être intéressant cependant de donner le plus possible de radiations com-

prises entre 2.800 et 3.100 A sans être arrêté par les réactions cutanées. En introduisant dans le spectre une quantité plus grande d'infra-rouge, on peut reculer le moment d'apparition de l'érythème et donner ainsi des doses qui, normalement, ne seraient pas supportées par le malade. Evidemment les cellules au cadmium mesurent toute la dose de rayons érythémateux donnée, et l'on entrevoit ainsi la possibilité de les utiliser dans la recherche des sources à employer pour traiter telle ou telle affection.

A la fin de cet exposé il resterait à étudier une unité de mesures qui soit complètement indépendante de l'appareil utilisé. Il n'est certes pas logique d'exprimer l'intensité d'un rayonnement d'U. V. en durée de décharge d'un électroscope. Le temps de décharge est en effet fonction non seulement de l'intensité du rayonnement mais aussi de la surface de la cathode et de la capacité du condensateur. Il faut donc utiliser des ionomètres préalablement étalonnés et savoir à combien d'unités électrostatiques correspond chaque division de l'échelle des mesures. Dans ces conditions, sachant la surface de la cathode, on peut apprécier avec exactitude l'intensité par centimètre carré du flux incident et il est possible de passer pour la même cellule d'un ionomètre à l'autre sans aucune difficulté. On pourrait ainsi poser les bases d'une posologie en unités électrostatiques, cette posologie tout en étant arbitraire, pourrait rendre de grands services dans la pratique actinologique.

Nous voici donc en possession d'une cellule au cad-

mium ayant un régime régulier et permettant de doser l'U. V. compris entre 2.800 et 3.100 Å mais cette cellule, comme certainement toutes les autres cellules photo-électriques à sensibilité élective, ne permet pas de prévoir avec une très grande précision l'intensité des réactions produites par les U. V. dans quelle limite peut-elle être employée en clinique.

Sa plus grande utilité est certainement de permettre de contrôler le régime d'une lampe donnée ou de comparer les intensités relatives de deux lampes de même type. On sait, en effet, que les lampes à vapeur de mercure, qui sont encore les plus employées aujourd'hui, n'ont pas un régime permanent. Quand elles sont neuves elles sont beaucoup plus riches en U. V. puis, à mesure qu'elles vieillissent, leur émission devient de plus en plus faible et finalement, après plusieurs mois d'usage quotidien, il faut pour obtenir les mêmes réactions cutanées, faire des irradiations plusieurs fois plus longues qu'au début. La cellule photo-électrique permet de suivre pas à pas le vieillissement de la lampe et d'augmenter progressivement le temps d'irradiation. Après étalonnage de la lampe neuve on voit par exemple que l'érythème correspond à une chute de quinze divisions de l'électroscope, si, au début, cette chute de quinze divisions se fait en cinq minutes et qu'après quelques mois il en faut dix pour l'obtenir, il faut doubler le temps de l'irradiation thérapeutique.

Les variations dans le régime d'émission ne se produisent pas toujours lentement. Avec des lampes à

brûleur de mercure, nous avons observé d'un jour à l'autre des oscillations allant jusqu'au tiers et plus de l'émission moyenne. Ces variations sont sans aucun doute dues aux irrégularités du secteur urbain. Nous croyons donc qu'il serait préférable de ne jamais faire d'irradiations thérapeutiques sans mesures préalables.

Si l'on observe des différences très importantes dans le régime d'une lampe donnée, celles que l'on observe entre les régimes de deux lampes de même type sont encore beaucoup plus grandes. Une des lampes à mercure de St-Antoine, quoique neuve, nécessitait, à la fois expérimentalement avec la cellule et physiologiquement d'après les expériences faites sur les malades, six fois plus de temps qu'une autre lampe d'une marque différente, mais d'un modèle analogue. Avec deux lampes de même marque ayant fait presque le même usage et fonctionnant au même régime, nous avons obtenu des différences de 400 % dans l'intensité de l'émission des U. V. érythémateux.

Toutes ces lampes à mercure ont un spectre pratiquement superposable. Si donc on compare deux sources du même type fonctionnant avec les mêmes constantes, les résultats donnés par les mesures photo-électriques doivent être proportionnels aux résultats physiologiques. Des mesures faites par M. Solomon lui ont montré, en effet, un parallélisme net entre ces deux genres de résultats.

La cellule photo-électrique n'a pas le seul rôle de vérifier la constance d'une lampe donnée ou de com-

parer les intensités émises par deux lampes de même type. Elle peut permettre de prévoir, d'une façon assez approchée, le temps d'irradiation nécessaire pour obtenir la réaction voulue avec une lampe que l'on ne connaît pas encore. Ainsi quand nous avons obtenu un érythème après trois minutes d'irradiation avec la lampe à arc, nous savions qu'il en faudrait une quinzaine avec une lampe à vapeur de mercure pour obtenir une réaction analogue. En effet, bien que l'on ne puisse, en se basant sur ce que l'on a obtenu avec une autre lampe, déterminer d'une façon rigoureuse le temps d'irradiation nécessaire pour obtenir un résultat fixé, on peut le faire, cependant, avec autant d'exactitude avec une cellule au cadmium qu'avec n'importe quelle autre méthode courante de mesure.

Nous en étions arrivé à ce point de nos recherches quand ont paru les comptes rendu du « Comité International de fixation d'une unité de mesures pour les U. V. utilisés en thérapeutique ». Nous avons la satisfaction de constater que nos conclusions ne sont nullement contredites par les rapports de ce congrès. Nous trouvons, en effet, dans le compte-rendu :

« Le Comité recommande aux médecins d'employer des méthodes de mesures simples (biologiques, photo-chimiques ou photo-électriques) pour contrôler la constance de chaque lampe qu'ils utilisent. Ils rappellent qu'avec ces méthodes, la comparaison n'est possible que pour la même lampe et non pas entre deux lampes différentes ».

En effet, ce congrès fait remarquer que les lampes ont des régimes tellement différents qu'il ne faut pas songer avec nos moyens actuels, à comparer deux lampes par des procédés simples et pratiques. Il décide : « A l'unanimité : de recommander la standardisation des sources utilisables en médecine en subdivisant le spectre U. V. en trois tranches spectrales définies, provisoirement, par les filtres suivants :

1° Noviol-Flint au baryum : (U. V. de grande longueur d'onde ou U. V. A. donnant approximativement 4.000-3.150 Å).

2° Flint au baryum-corex : (U. V. de longueur d'onde moyenne ou U. V. B. donnant approximativement 3.150-2.800 Å).

3° Corex-quartz : (U. V. de courte longueur d'onde ou U. V. C. donnant approximativement les rayons au-dessous de 2.800 Å).

Pour chaque tranche spectrale définie par ces filtres, la mesure du rayonnement devra être faite avec un récepteur non sélectif (par exemple avec des piles thermo-électriques) et exprimée de préférence (pour les mesures médicales ou météorologiques) en millicalories-grammes, centimètres carrés et minutes. Cette mesure sera valable pour le même type de lampe mais ne devra pas entraîner de comparaison entre des types différents de lampes. »

Ces mesures par piles thermo-électriques dont parle le Congrès sont des mesures à faire une fois pour

toutes par le constructeur quand la lampe est neuve. Elles sortent du domaine de la pratique courante en raison de leur difficulté et du temps qu'elles nécessitent. En terminant cet exposé nous pouvons donc dire :

CONCLUSION

Toute application d'U. V. devrait être strictement dosée si le régime de la lampe ou du secteur urbain n'est pas rigoureusement constant. Si la lampe est stable, mais susceptible de vieillissement, il faut l'étalonner assez fréquemment afin de déterminer chaque fois les temps d'irradiation.

Il existe actuellement une méthode simple pour étalonner les lampes à U. V. Dans cette méthode n'entre aucun élément subjectif et par conséquent les chances d'erreurs sont réduites au minimum : nous voulons parler de l'emploi des cellules photo électriques. Parmi les cellules photo électriques celles qui ont une cathode de cadmium sont d'une sensibilité pratiquement superposable à celle de la peau.

On ne peut cependant pas, avec de telles cellules, comparer d'une façon certaine deux lampes de *types différents* entre elles, parce que de nombreuses irradiations peuvent avoir une action freinatrice ou accélératrice sur les réactions cutanées. Malgré tout, les renseignements obtenus, bien qu'approchés, peuvent servir de guide lors des premières irradiations pratiquées avec un type de lampes que l'on ne connaît pas encore.

Parmi les cellules à cathode de cadmium nous pouvons conseiller celle de M. Solomon parce qu'avec elle on peut, au moyen d'un simple limage avant la mesure, remédier à l'inévitable fatigue photo électrique. Cette cellule présente, en plus de l'avantage de sa grande simplicité, celui de l'interchangeabilité de toutes ses pièces et celui de son prix de revient très au-dessous de ceux des autres cellules.

Nous croyons cet appareil susceptible de rendre de précieux services en actinologie.

Vu : Le Président de thèse,

STROHL.

Vu : Le Doyen,

BALTHAZARD.

Vu et permis d'imprimer :

Le recteur de l'Académie de Paris,

CHARLETY.

Imp. spéciale de la Librairie Le François, 91, boul. St-Germain, Paris

